10.22092/sppi.2020.123185

"مجله نهال و بذر"
جلد ۳۶، شماره ۲، سال ۱۳۹۹

مقاله پژوهشی

ارزیابی تحمل خشکی در لاین‌های امیدبخش جو در شرایط کنترل شده و مزرعه

Evaluation of Drought Tolerance in Promising Barley Lines under Controlled and Field Conditions

زهرا دهقانی[۱]، حمیدرضا نیکخواه[۲] و پیمان فروزش[۳]

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشکده کشاورزی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد کرج، کرج، ایران.
۲- استادیار، موسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال بذر، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران.
۳- استادیار، گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد کرج، ایران.

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۰۹/۲۶ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۰۵/۱۹

چکیده

دهقانی، ز.، نیکخواه، ح. ر. و فروزش، پ. ۱۳۹۹. ارزیابی تحمل خشکی در لاین‌های امیدبخش جو در شرایط کنترل شده و مزرعه. **مجله نهال و بذر ۳۶:** ۱۸۲ - ۱۶۱.

به‌منظور ارزیابی واکنش لاین‌های امیدبخش جو به تنش خشکی، دو آزمایش به صورت مجزا در شرایط کنترل شده و مزرعه انجام شد. در شرایط کنترل شده، ۲۵ لاین و رقم جو در دو سطح تنش اسمزی، صفر (شاهد) و ۵- مگاپاسکال با استفاده از نمک پلی اتیلن گلیکول ۶۰۰۰ با استفاده از آزمایش فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار مورد ارزیابی قرارگرفتند. تجزیه واریانس داده ها نشان داد که اثر ژنوتیپ، پتانسیل اسمزی و اثر متقابل ژنوتیپ × پتانسل اسمزی بر درصد جوانه‌زنی، سرعت جوانه‌زنی، طول کلئوپتیل، وزن ریشه‌چه و شاخص بنیه بذر معنی‌دار بود. با افزایش سطح تنش اسمزی کلیه صفات مورد مطالعه به طور معنی‌دار کاهش نشان دادند. در شرایط مزرعه، ۲۰ لاین جو با استفاده از طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار در دو شرایط تنش خشکی آخر فصل (قطع آبیاری در ۵۰٪ سنبله‌دهی) و بدون تنش در دو سال زراعی ۹۶-۱۳۹۵ و ۹۷-۱۳۹۶ مورد ارزیابی قرار گرفتند. تجزیه واریانس مرکب داده‌ها برای عملکرد دانه نشان داد که در هر دو شرایط تنش و بدون تنش اثر سال و اثر متقابل ژنوتیپ × سال معنی دار بود. مقایسه میانگین عملکرد دانه ژنوتیپ ها در شرایط نرمال نشان داد که بیشترین عملکرد دانه مربوط به ژنوتیپ ۱۶ و در شرایط تنش خشکی نیز بیشترین عملکرد مربوط به ژنوتیپ ۱۶ بود. در این آزمایش با استفاده از به عملکرد دانه در دو شرایط تنش و بدون تنش، شاخص‌های مختلف تحمل و حساسیت به خشکی محاسبه شدند. بر اساس همبستگی بین شاخص‌های مختلف با عملکرد دانه در دو شرایط، شاخص‌های میانگین بهره‌وری(MP)، میانگین هندسی(GMP)، شاخص تحمل به خشکی(STI) و شاخص هارمونیک (HM) به عنوان بهترین شاخص‌ها تعیین شدند. بر اساس این شاخص‌ها ژنوتیپ‌های ۱۶، ۱۱ و ۴ به عنوان ژنوتیپ‌های برتر در هر دو شرایط شناخته شدند. تجزیه همبستگی بین صفات در مرحله جوانه‌زنی با شاخص‌های تحمل به تنش نشان داد که تنها وزن ریشه‌چه با شاخص‌های MP، GMP، HM و STI همبستگی مثبت و معنی‌داری داشت.

واژه های کلیدی: جو، تنش خشکی، جوانه‌زنی، عملکرد دانه، شاخص‌های تحمل به خشکی.

نگارنده مسئول: nikkhah_hr@yahoo.com تلفن: ۰۲۶۳۶۷۰۱۱۰۷

مقدمه

تنش خشکی مهم‌ترین تهدید جهانی برای تامین غذا به حساب می‌آید و میزان تولید را محدود می‌کند و گرم شدن کرهٔ زمین و تغییرات آب و هوایی به یک نگرانی مهم در سراسر جهان تبدیل شده است (Tardieu, 2012). کاهش عملکرد ناشی از تنش خشکی به مرحله زمانی و شدت تنش بستگی دارد (Daryanto *et al*., 2016). ایران همواره یکی از کشورهایی بوده که با شدیدترین خشکی‌های جهان روبرو بوده است و پیش‌بینی‌ها نشان می‌دهد که در سال‌های آینده نیز ایران هم‌چنان خشکسالی های شدیدی را تجربه خواهد کرد (Mesgaran *et al*., 2016).

جو (*Hordeum vulgare L.*) چهارمین غله مهم دنیا بعد از گندم، ذرت و برنج و دومین محصول زراعی مهم ایران از نظر سطح تولید بعد از گندم است. در دنیا سالانه بیش از ۱۲۳ میلیون تن جو از حدود ۴۸ میلیون هکتار زمین کشاورزی برداشت می‌شود. در ایران نیز سطح زیر کشت جو حدود ۱/۴۷۳ میلیون هکتار است (سطح زیر کشت جو آبی حدود۶۳۲ هکتار و جو دیم حدود ۸۴۱ هزار هکتار می باشد) که از این سطح حدود سه میلیون تن دانه برداشت می‌شود (FAO, 2019). جو به عنوان یکی از مهم‌ترین غلات در سراسر جهان، با سازگاری خوب برای مقابله با تنش است و می‌تواند به‌عنوان یک مدل ژنتیکی برای نشان دادن مقاومت به خشکی مورد بررسی قرار گیرد (Soltani *et al*., 2006, Patade *et al*., 2009; Cavusiglu and Kabar, 2010; Jafar *et al*., 2011).

جوانه‌زنی مرحله مهمی از چرخه زندگی گیاهان در محیط‌های خشک است، زیرا نقش جوانه‌زنی از نظر استقرار تعداد گیاه سبز در واحد سطح برای تولید محصول تعیین کننده است (Chaghakaboodi *et al*., 2012). جوانه‌زنی شامل انتقال مواد ذخیره‌ای به محور جنین و شروع فعالیت‌های متابولیک و رشد آن است. این مرحله از زندگی گیاهان زراعی نقش تعیین‌کننده‌ای در استقرار مناسب گیاه و عملکرد نهایی آن دارد (Almansouri *et al*., 2011). مطالعه بر روی جوانه‌زنی در شرایط تنش خشکی به‌وسیله پلی‌اتیلن گلیکول (Poly Ethylene Glycol) نشان‌دهنده کاهش درصد جوانه‌زنی و میزان رشد گیاهچه‌ها در اثر کمبود آب می‌باشد (Lima *et al*., 2016).

در مناطق خشک و نیمه خشک، وقوع تنش خشکی در دوره پرشدن روی گیاه مادری اجتناب ناپذیر است. تنش خشکی سبب زوال بذر شده و با کاهش اندوخته بذر، می‌تواند باعث کاهش سرعت جوانه‌زنی شود و چنین بذرهایی در شرایط مزرعه از جوانه‌زنی کندتر و بنیه ضعیف‌تری برخوردار خواهند بود (Ozdemir and Sada, 2015). گراوندی و همکاران (Geravandi *et al*., 2010) کاهش درصد جوانه‌زنی را با کاهش پتانسیل اسمزی توسط پلی‌اتیلن گلیکول گزارش نمودند. آنها

همچنین گزارش کردند که با کاهش پتانسیل اسمزی برخلاف کاهش کند درصد و سرعت جوانه‌زنی، بنیه جوانه‌زنی با سرعت و شیب بیشتری در ژنوتیپ‌های مختلف شروع به کاهش کرد.

فرناندز (Fernandez, 1992) ژنوتیپ های مورد بررسی در شرایط تنش و بدون تنش را از نظر پتانسیل عملکرد و تحمل به تنش به چهار گروه تقسیم کرد. گروه A شامل ژنوتیپ هایی است که در هر دو محیط تنش و بدون تنش عملکرد بالایی دارند. گروه‌های B و C ژنوتیپ هایی هستند که به‌ترتیب فقط در شرایط محیطی بدون تنش و شرایط تنش عملکرد بالایی دارند، ولی گروه D شامل ژنوتیپ‌هایی است که در هر دو محیط تنش و غیر تنش عملکرد پایینی دارند. بنابراین شاخصی مناسب است که بتواند گروه A را از بقیه گروه‌ها جدا کند.

زبرجدی و همکاران (Zebarjadi *et al.*, 2013) در بررسی ۲۰ ژنوتیپ پیشرفته گندم دوروم گزارش نمودند که شاخص تحمل تنش (STI)، شاخص میانگین بهره‌وری (MP) و شاخص میانگین هندسی بهره‌وری (GMP) برای شناسایی ژنوتیپ‌هایی با عملکرد بالا در هر دو شرایط تنش و بدون تنش خشکی مناسب هستند. شفا زاده و همکاران (Shafazade *et al.*, 2005) گزارش کردند که شاخص‌های STI، GMP و MP در هر دو شرایط تنش و بدون تنش همبستگی مثبت و معنی‌دار با عملکرد دانهٔ گندم داشتند و می‌توانند برای شناسایی ژنوتیپ‌های متحمل به خشکی و پرمحصول برای هر دو شرایط محیطی به کار روند. نظری و پاک‌نیت (Nazari and Pakniyat, 2010) در مطالعه‌ای که برای ارزیابی تحمل ۲۲ ژنوتیپ و رقم جو به تنش خشکی انجام دادند نشان دادند که همبستگی مثبت و معنی‌داری بین پتانسیل عملکرد دانه (Yp) و عملکرد تحت تنش (Ys) با شاخص‌های STI، GMP و MP وجود داشت.

بنابراین هدف این پژوهش: بررسی اثر تنش اسمزی بر روی صفات در مرحله جوانه‌زنی، بررسی اثر تنش خشکی برروی عملکرد دانه در لاین‌های امید بخش جو، شناسایی لاین(های) متحمل به خشکی و بررسی ارتباط بین صفات اندازه‌گیری شده در مرحله جوانه‌زنی با شاخص‌های متحمل به خشکی در مزرعه بود.

مواد و روش ها

این تحقیق به‌صورت دو آزمایش مجزا در شرایط آزمایشگاه فیزیولوژی بخش تحقیقات غلات موسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر کرج و در مزرعه پژوهشی مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی یزد انجام شد. اسامی ژنوتیپ‌های مورد آزمایش و آمار هواشناسی ایستگاه یزد در جدول‌های ۱و ۲ آورده شده است.

در شرایط آزمایشگاه، آزمایش به‌صورت

جدول ۱- نام، شجره و منشاء ژنوتیپ‌های جو مورد بررسی در آزمایشگاه و مزرعه

Table 1. Name, pedigree and origin of barley genotypes examined in laboratory and field conditions

شماره ژنوتیپ Genotype no.	نام / شجره Name/Pedigree	منشاء Origin
1	Yousef (Check)	Iran
2	Cr115/Por//Bc/3/Api/CM67/4/Giza120/5/H272/Bgs/3/Mzq/Gva//Alanda-01/6/Nik	Iran
3	Nosrat/5/Ciru/3/Agave/Sumbard400//Marco/4/Petunia1	Iran
4	Bgs/Dajia//L.1242/3/L.B.IRAN/Una8271//Gloria'S'/3/Alm/Una80/4/ Nik	Iran
5	Dasht//EBC(a)/Badia/3/Sahra	Iran
6	Comino/Yousef	Iran
7	Puebla/Cardo//Tocte/5/Nosrat/4/Rhodes'S'//Tb/Chzo/3/Gloria'S'	Iran
8	Karoon/Kavir^{2*}//Sadik-10	Iran
9	L.131/Cerbel//Alger-Ceres/3/Gloria"S"/Copal"S"/4/Sahra/5/ Nik/6/Goharan	Iran
10	LB.Iran/Una 8271//Gloria"S"/Come"s"-11M/3/Kavir/4/ Sadik-10	Iran
11	Nosrat/Goharan	Iran
12	Zarza'S'/Agave'S'//Cardo/3/79W40762/Puebleda/4/ Nik	Iran
13	CM67/IPA265//Gustoe/IPA7/3/ Goharan	Iran
14	L.131/Cerbel//Alger-Ceres/3/Gloria"S"/Copal"S"//4/Rhn-03 /5/ Deir Alla 106//Hem/Bc/3/Rihane"S"/4/Nik	Iran
15	Nosrat2*/Sadik-10	Iran
16	Nosrat /6/Sadik-10/5/Rihane//Aths/Bc/4/ L.131/Cerbel//Alger-Ceres/3/Gloria"S"/Copal"S"	Iran
17	L.131/Cerbel//Alger-Ceres/3/Gloria"S"/Copal"S"/4/Sahra/5/ Nik/6/Goharan	Iran
18	Nosrat 2*/3/Gloria'S'/Copal'S'//As46/Aths	Iran
19	26216/4/Arar/3/Mari/Aths*2/M-Att-73-337-1/5/Barjouj	ICARDA
20	MB-93-16 (SLB44-56/Lignee131)	ICARDA
21	Goharan	Iran
22	Rihane03	ICARDA
23	Nosrat	Iran
24	Armaghan	Iran
25	Ataco/Comino//Aleli/3/Bichy2000/4/Arupo/K8755//Mora	ICARDA

کلیه ژنوتیپ ها (۲۵ ژنوتیپ) در ارزیابی آزمایشگاهی بررسی شدند ولی در ارزیابی مزرعه ای فقط ژنوتیپ‌های ۱ تا ۲۰ بررسی شدند

All 25 genotypes were tested in laboratony, but only genotypes 1-20 test in the field.

جدول۲- اطلاعات هواشناسی ایستگاه تحقیقات کشاورزی یزد در سال‌های زراعی ۹۶-۱۳۹۵ و ۹۷-۱۳۹۶

Table 2. Meteorological information of agricultural research station of Yazd during 2016-17 and 2017-18 cropping seasons

Parameter	پارامتر	Oct.	Nov.	Dec.	Jan.	Feb.	Mar.	Apr.	May	Jun.
						2016-17				
Min. RH (%)	حداقل رطوبت نسبی (٪)	10	13	21	26	25	18	16	14	5
Max. RH (%)	حداکثر رطوبت نسبی (٪)	25	33	51	63	70	59	47	45	13
Rainfall (mm)	بارندگی (میلی متر)	0.0	0.0	1.9	1.5	9	1.3	1.7	11.6	0
Min. temp. (°C)	درجه حرارت حداقل (سانتی گراد)	16.7	10.7	3.6	2.2	2.8	6.6	13.5	18.8	24.0
Max. temp. (°C)	درجه حرارت حداکثر (سانتی گراد)	31.0	25.3	16.1	15.9	15.1	19.8	27.1	32.2	39.1
Evaporation (mm)	تبخیر (میلی متر)	257.7	167.2	90.0	55.4	0.0	110.3	259.7	335.0	480.9
						2017-18				
Min. RH (%)	حداقل رطوبت نسبی (٪)	9.0	11.0	17.0	14.0	22.0	17.0	16.0	19.0	9.0
Max. RH (%)	حداکثر رطوبت نسبی (٪)	26.0	28.0	40.0	41.0	57.0	51.0	46.0	58.0	26.0
Rainfall (mm)	بارندگی (میلی متر)	0.0	0.0	0.4	1.2	7.4	1.3	11.1	14.5	0.2
Min. temp. (°C)	درجه حرارت حداقل (سانتی گراد)	15.6	10.6	3.3	3.7	4.9	9.6	13.4	16.1	24.2
Max. temp. (°C)	درجه حرارت حداکثر سانتی گراد)	30.7	25.4	16.9	17.9	17.1	22.5	27.1	28.4	37.4
Evaporation (mm)	تبخیر (میلی متر)	262.0	160.8	65.9	0.0	0.0	130.7	246.5	283.0	416.0

فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار انجام شد. در این آزمایش فاکتور اول شامل ۲۵ ژنوتیپ و فاکتور دوم پتانسیل اسمزی شامل سه سطح صفر (شاهد)، ۵- و ۱۰- مگاپاسکال در نظر گرفته شد (با توجه به عدم قابلیت یادداشت‌برداری صفات طول کلئوپتیل و وزن ریشه چه در سطح ۱۰- مگاپاسکال این سطح از آزمایش حذف شد). پتانسیل‌های مورد نظر با استفاده از نمک پلی اتیلن گلیکول ۶۰۰۰ طبق دستورالعمل میچل و کافمن (Michel and Kaufman, 1973) و برای پتانسیل صفر (شاهد) از آب مقطر استفاده شد. میزان پلی اتیلن گلیکول مورد نیاز از رابطه ۱ به دست آمد.

رابطه ۱: $\psi_s = (1.18 \times 10^{-2})\, C - (1.18 \times 10^{-4})\, C^2 + (2.67 \times 10^{-4})\, CT + (8.39 \times 10^{-7})\, C^2T$

در این رابطه (۱) ψs پتانسیل اسمزی بر حسب بار، C غلظت پلی اتیلن گلیکول برحسب گرم در لیتر و T درجه حرارت بر حسب درجه سانتی‌گراد بود.

در این آزمایش، ۲۵ عدد بذر از هرژنوتیپ انتخاب و از هر ژنوتیپ بزرگترین بذرها هم‌اندازه انتخاب شدند. ابتدا بذرها به مدت ۱۰ ثانیه در الکل ۹۶ درصد و سپس به مدت ۵۰ ثانیه درمحلول هیپوکلرید سدیم ۱۵ درصد ضدعفونی و سپس با آب مقطر شسته شدند. پتری‌دیش‌ها و کاغذ صافی و محلول‌های تهیه شده نیز اتوکلاو شدند. در داخل هر پتری دیش یک عدد کاغذ صافی واتمن قرار داده و بر روی آن ۲۵ عدد بذر گذاشته شد. سپس ۱۰ میلی لیتر از محلول‌های آماده شده بر روی آن‌ها ریخته شد. در مرحله بعد پتری‌دیش‌ها به داخل ژرميناتور با دمای ۱۸+ درجه سانتی‌گراد منتقل گردیدند. برای جلوگیری از تبخیر محلول داخل پتری، درب ظرف را بسته و رطوبت نسبی دستگاه تنظیم گردید.

از زمان قراردادن پتری‌دیش‌ها در ژرميناتور، ثبت جوانه‌زنی به صورت دو روز یک بار از روز دوم شروع شد و تا روز دهم ادامه داشت. خروج ریشه‌چه دو میلی‌متری از پوست بذر، به عنوان زمان جوانه‌زنی در نظر گرفته شد (Soltani *et al.*, 2002). در انتهای آزمایش (پایان روز دهم) پنج گیاهچه از داخل هرپتری‌دیش بصورت تصادفی انتخاب و وزن ریشه‌چه با ترازو حساس و طول کلئوپتیل با خط‌کش بر حسب سانتی‌متر اندازه‌گیری و ثبت شد. ریشه‌چه‌ها در دمای ۷۲ درجه سانتی‌گراد در داخل آون به مدت ۴۸ ساعت قرار گرفت و سپس وزن خشک آن‌ها اندازه‌گیری شد.

برای بدست آوردن درصد جوانه‌زنی از رابطه ۲ استفاده شد (Scott *et al.*, 1984). سپس با استفاده از روابط ارائه شده توسط بوسلاما و شاپوک (Bouslama and Schapaugh, 1984) سرعت جوانه‌زنی (PI)

از رابطه ۳ و شاخص بنیهٔ بذر با استفاده از رابطه ۴ (Agrawal, 2003) محاسبه گردیدند.

رابطه:۲

$$\text{درصد جوانه‌زنی} = \left(\frac{\text{تعداد بذرهای جوانه زده تا روز i ام}}{\text{تعداد کل بذور جوانه زده}} \right) \times 100$$

رابطه ۳:

$$PI = nd2(1/0) + nd4(0/8) + nd6(0/6) + nd8(0/4) + nd10(0/2)$$

در رابطه۳، nd2، nd4، nd6، nd8 و nd10 به ترتیب تعداد بذور جوانه‌زده در روزهای دوم، چهارم، ششم، هشتم و دهم است.

رابطه۴:

طول گیاهچه × درصد جوانه‌زنی نهائی = شاخص بنیه بذر

در شرایط مزرعه مقایسه عملکرد دانه ۱۸ لاین امیدبخش جو انتخابی از آزمایش لاین‌های پیشرفته سال قبل (۹۵-۱۳۹۴) همراه دو ژنوتیپ شاهد، رقم یوسف و لاین MB-93-16 (جمعاً ۲۰ ژنوتیپ)، در دو شرایط بدون تنش و تنش خشکی آخر فصل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار طی دو سال زراعی(۹۶-۱۳۹۵ و ۹۷-۱۳۹۶) انجام شد. در شرایط تنش، قطع آبیاری در ۵۰ درصد سنبله‌دهی (زمانی که ۵۰ درصد سنبله ها در کرت‌های آزمایشی به سنبله رفته بودند) اعمال گردید و در شرایط بدون‌تنش، آبیاری کامل تا مرحله رسیدگی فیزیولوژیکی انجام شد.

عملیات تهیهٔ زمین بر اساس عرف آزمایش‌های غلات در ایستگاه مربوطه انجام شد. تاریخ کاشت در محدوده زمانی معمول در منطقه در اواسط آبان انجام شد. در هر کرت شش خط کاشت به طول شش متر و فاصله ۲۰ سانتی‌متر روی دو پشته کشت گردید. مساحت کاشت هر کرت ۷/۲ مترمربع و پس از حذف ۰/۵ متر از بالا و پایین هر کرت، مساحت برداشت از هر کرت شش متر مربع انجام بود.

میزان کودهای مصرفی پتاس، فسفات و کود اوره (در دو نوبت یکی در مرحله پنجه‌زنی و در مرحله ظهور سنبله) براساس آزمون خاک، استفاده شد. میزان بذر بر اساس ۳۵۰ دانه در هرمترمربع، و توزین بذر لازم برای کاشت در هر کرت با توجه به وزن هزار دانه ژنوتیپ‌ها انجام گردید. برای جلوگیری از خسارت علف‌های هرز پهن‌برگ از علف‌کش گرانستار و علف‌های هرز نازک برگ از علف‌کش پومااکسترا استفاده شد. در طول فصل زراعی از صفات مختلف در دو شرایط یادداشت‌برداری به‌عمل آمد. در پایان هر فصل بعد از رسیدگی

کامل کرت‌های جو برداشت و عملکرد دانه هر کدام از لاین‌ها توزین و یادداشت شد.

برای برآورد شاخص‌های حساسیت و یا تحمل به خشکی ژنوتیپ‌های مورد بررسی، از پارامترهای پیشنهادی توسط فیشر و مورر (Fischer and Maurer, 1978)، فرناندز (Fernandez, 1992) روزیلی و هامبلین (Rosielle and Hamblin 1981) استفاده شد. شاخص‌ها عبارت بودند از: SSI (شاخص حساسیت به خشکی)، TOL (شاخص تحمل)، MP (شاخص بهره وری متوسط)، GMP (شاخص میانگین هندسی بهره وری)، STI (شاخص تحمل به تنش)، YI (شاخص عملکرد)، YSI (شاخص پایداری عملکرد)، HM (میانگین هارمونیک) و RSI (شاخص نسبی خشکی)، که با استفاده از برنامه iPASTIC (Pour-Aboughadareh *et al.*, 2019) محاسبه شده و رتبه بندی ژنوتیپ ها بر اساس تحمل به خشکی در هر شاخص انجام شد.

با استفاده از رتبه های محاسبه شده برای هر یک از شاخص ها، میانگین و انحراف معیار رتبه تحمل به تنش برای کلیه ژنوتیپ ها تعیین شد. برای انجام محاسبات آماری (تجزیه واریانس و مقایسه‌های میانگین) از نرم افزارهای Excel و SAS و برای محاسبه شاخص‌ها و رسم پلات‌ها از برنامه iPASTIC (Pour-Aboughadareh *et al.*, 2019) استفاده گردید.

برای انجام تجزیه واریانس مرکب آزمون همگنی واریانس اشتباه های آزمایشی با استفاده از آزمون بارتلت انجام گرفت. نتایج حاکی از همگن بودن واریانس اشتباهات آزمایشی و قابل انجام بودن تجزیه واریانس مرکب بود.

نتایج و بحث

تجزیه واریانس داده های آزمایش مرحله جوانه‌زنی در شرایط آزمایشگاه نشان داد که اثر ژنوتیپ، پتانسیل اسمزی و اثر متقابل ژنوتیپ× پتانسیل اسمزی بر درصد جوانه‌زنی، سرعت جوانه‌زنی، طول کلئوپتیل، وزن ریشه‌چه و شاخص بنیه بذر در سطح احتمال یک درصد معنی‌داری بود (جدول۳). با توجه به عدم قابلیت یادداشت‌برداری صفات طول کلئوپتیل و وزن ریشه چه در سطح ۱۰- مگاپاسکال این سطح از آزمایش حذف گردید و تجزیه واریانس داده ها با دو سطح صفر (شاهد) و ۵- مگاپاسکال انجام شد. معنی‌دار بودن اثر ژنوتیپ‌ها بر صفات مختلف نشان‌دهندهٔ تفاوت ژنتیکی در بین ژنوتیپ‌های مورد بررسی بود.

وجود تنوع ژنتیکی مؤثر در صفات مورد بررسی برای انتخاب لاین‌هایی با خصوصیات مختلف در جو می‌تواند مفید باشد. در واقع واکنش های متفاوت ژنوتیپ‌های موردآزمایش از نظر درصد جوانه‌زنی، سرعت جوانه‌زنی، طول کلئوپتیل، وزن ریشه‌چه و شاخص بنیه بذر تحت تأثیر پتانسیل اسمزی مختلف، از خصوصیات ژنتیکی آنها بود. با افزایش

جدول ۳- تجزیه واریانس برای صفات مختلف ژنوتیپ‌های جو در شرایط آزمایشگاه

Table 3. Analysis of variance for different traits of barley genotypes under laboratory conditions

			میانگین مربعات صفات(MS)				
S.O.V.	منبع تغییر	درجه آزادی df	درصد جوانه‌زنی Germination percentage	سرعت جوانه‌زنی Germination rate	طول کلئوپتیل Coleoptile length	وزن ریشه‌چه Radicle weight	شاخص بنیه بذر Seed vigor index
Block	بلوک	2	1210.3**	423.50**	2.612**	0.551**	60865.6**
Genotype (G)	ژنوتیپ	24	343.1*	51.04**	0.666**	0.034**	5558.3**
Osmotic potential (P)	پتانسیل اسمزی	1	10888.5**	1282.40**	19.98**	0.0773**	515879.5**
G × P	ژنوتیپ × پتانسیل اسمزی	24	458.5**	13.75*	0.407**	0.025**	9224.1**
Error	اشتباه	98	210.3	8.38	0.065	0.008	2530.4
C.V. (%)	درصد ضریب تغییرات		17.28	18.62	7.397	27.74	17.13

* و **: به ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال پنج و یک درصد.

* and **: Significant at the 5% and 1% probability levels, respectively.

تنش خشکی قدرت جذب آب توسط بذرها کاهش می یابد و شروع فرآیندهای جوانه‌زنی را علاوه بر اینکه به تأخیر می‌اندازد می‌تواند اختلال در آن ایجاد کند.

با توجه به معنی‌دار بودن اثر متقابل ژنوتیپ × پتانسیل اسمزی می توان استنباط کرد که صفات مورد بررسی در ژنوتیپ‌ها در سطوح مختلف پتانسیل اسمزی تغییرات نشان دادند و تحت تأثیر پتانسیل اسمزی قرار گرفتند و تأثیر پتانسیل اسمزی بر ژنوتیپ‌ها یکسان نبود. بنابراین بنظر میرسد آن دسته از ژنوتیپ‌ها که قادرند در پتانسیل اسمزی پائین‌تر، آب جذب نموده و به رشد خود ادامه دهند در مراحل بعدی نیز قادر خواهند بود تا تنش را بهتر تحمل کنند.

مقایسه میانگین های درصد جوانه‌زنی، سرعت جوانه‌زنی، طول کلئوپتیل، وزن ریشه‌چه و شاخص بنیه بذر در دو سطح پتانسیل اسمزی نشان داد که با افزایش شدت تنش اسمزی از صفر به ۵- مگاپاسکال کلیه صفات اندازه‌گیری شده کاهش یافتند و از این نظر تفاوت معنی‌داری بین سطوح تنش وجود داشت (جدول۴).

کاهش سرعت و درصد جوانی زنی به دلیل آن است که تنش باعث افزایش فشار اسمزی در محیط اطراف بذر می شود که در این صورت جذب آب توسط بذر با اشکال مواجه می‌گردد. هر چه بذرهای ژنوتیپ‌ها بتوانند در مدت زمان کمتر، درصد جوانه زنی بیشتری داشته باشند از سرعت جوانه‌زنی بالاتری برخوردار هستند. کاهش شاخص های جوانه زنی را می توان با کاهش سرعت جذب اولیه آب مرتبط دانست. تنش اسمزی با محدود کردن جذب آب توسط بذر، تأثیر بر حرکت انتقال ذخایر بذر و با تأثیر مستقیم بر ساختمان آن بیشتر پروتئین در جنین جوانه را تحت تأثیر قرار می‌دهد.

جدول ۴ –میانگین صفات مختلف مربوط به جوانه زنی ژنوتیپ های جو در دو سطح پتانسیل اسمزی در شرایط آزمایشگاه

Table 4. Mean of different germination related traits of barley genotypes at two osmotic potential levels under laboratory conditions

پتانسیل اسمزی (مگا پاسکال) Osmotic potential (MPa)	درصد جوانه‌زنی Germination (%)	سرعت جوانه‌زنی (روز) Germination Rate (day)	طول کلئوپتیل (سانتیمتر) Coleoptile length (cm)	وزن ریشه‌چه (گرم) Radicle weight (g)	شاخص بنیه بذر Seed vigor index
0	92.40	18.47	3.83	0.285	352.10
-5	75.36	12.61	3.10	0.239	234.80
LSD 5%	4.67	0.94	0.08	0.030	16.30
LSD 1%	6.22	1.24	0.11	0.039	21.58

مقایسه میانگین های اثر تنش پتانسیل اسمزی بر ژنوتیپ‌ها و مقایسه ژنوتیپ‌ها هنگام وقوع تنش، نشان داد که ژنوتیپ‌ها نسبت به سطوح مختلف پتانسیل اسمزی واکنش متفاوتی داشته‌اند. میانگین اثر سطوح مختلف پتانسیل اسمزی بر صفات مورد سنجش در ژنوتیپ‌های جو مورد بررسی در جدول ۵ ارائه شده است. همان‌طوری که نتایج نشان می دهند، از نظر درصد جوانه‌زنی ژنوتیپ‌های شماره ۲۵، ۷، ۲۴، ۱۸ و ۱۶ به‌ترتیب بالاترین درصد (بالای ۹۰ درصد) و ژنوتیپ‌های ۵، ۱۹، ۴، ۱۴ و ۲۳ به‌ترتیب کمترین میانگین درصد جوانه‌زنی را داشتند. همچنین ژنوتیپ‌های شماره ۲۵، ۲۴، ۷، ۹ و ۱۸ به ترتیب بالاترین و ژنوتیپ‌های شماره ۴،۱۹، ۵، ۱۴ و ۱۲ به ترتیب کمترین مقدار سرعت جوانه‌زنی را نشان دادند (جدول ۵).

از نظر طول کلئوپتیل ژنوتیپ‌های ۳، ۸، ۴، ۲۱ و ۶ به‌ترتیب بیشترین و ژنوتیپ‌های ۲۰،۷، ۱۹، ۱ و ۱۱ به ترتیب کمترین طول کلئوپتیل را داشتند و همچنین ژنوتیپ‌های شماره ۱۶، ۲۵، ۲۴، ۳ و ۲۰ به ترتیب بیشترین و شماره‌های ۱۲، ۱۹، ۱۷، ۵ و ۸ به ترتیب کمترین وزن ریشه‌چه را دارا بودند. مقایسه میانگین شاخص بنیه بذر نشان داد که ژنوتیپ‌های شماره ۳، ۲۱، ۱۰، ۱۶ و ۲۵ به ترتیب بیشترین و ژنوتیپ‌های شماره ۲۰،۱۹، ۷، ۱۴ و ۲۳ به ترتیب کمترین بنیه بذری را دارا بودند (جدول ۵).

از آنجایی که اثر متقابل ژنوتیپ× پتانسیل اسمزی بر کلیه صفات معنی‌دار بود، بنابراین مقایسه میانگین‌ها برای کلیه صفات ژنوتیپ‌ها در سطوح مختلف پتانسیل اسمزی انجام شد (جدول ۶). در سطح پتانسیل اسمزی ۵- مگا پاسکال بیشترین درصد جوانه‌زنی به‌ترتیب مربوط به ژنوتیپ‌های شماره ۷، ۲۵، ۱۶، ۴ و ۲۴ و کمترین آن به‌ترتیب مربوط به شماره‌های ۱۴، ۵، ۱۹، ۱و ۸ بود. ژنوتیپ‌های شماره ۲۵، ۲۴، ۷، ۱۱ و ۹ به ترتیب بالاترین و ژنوتیپ‌های ۱۹، ۱۴، ۸، ۲۲ و ۵ به ترتیب کمترین سرعت جوانه‌زنی را داشتند.

جدول ۵- میانگین صفات مختلف مربوط به جوانه زنی در ژنوتیپ های جو در شرایط آزمایشگاه

Table 5. Mean of different germination related traits in barley genotypes under laboratory conditions

شماره ژنوتیپ Genotype no.	درصد جوانه‌زنی Germination (%)	سرعت جوانه‌زنی (روز) Germination rate (day)	طول کلئوپتیل (سانتیمتر) Coleoptile length (cm)	وزن ریشه‌چه (گرم) Radicle weight (g)	شاخص بنیه بذر Seed vigor index
1	82	17.28	3.141	0.252	272.4
2	87	15.11	3.248	0.223	284.2
3	87	15.12	4.173	0.307	361.9
4	73	12.08	3.811	0.272	277.0
5	71	12.23	3.705	0.194	271.3
6	80	14.49	3.758	0.258	303.4
7	96	18.71	2.748	0.260	261.6
8	80	13.22	3.830	0.204	307.9
9	82	18.02	3.395	0.280	286.9
10	87	16.42	3.711	0.262	329.8
11	91	17.43	3.151	0.231	294.9
12	82	13.15	3.571	0.144	292.3
13	85	14.87	3.621	0.239	309.7
14	73	12.68	3.548	0.222	266.4
15	81	14.09	3.650	0.286	300.3
16	92	16.05	3.583	0.526	328.4
17	82	16.11	3.423	0.166	281.2
18	93	17.86	3.368	0.273	315.8
19	72	10.90	3.013	0.154	223.6
20	83	15.78	2.881	0.303	248.5
21	88	17.42	3.811	0.251	339.4
22	83	13.22	3.430	0.275	286.3
23	75	12.58	3.565	0.266	267.4
24	94	19.71	3.116	0.345	304.1
25	98	23.99	3.271	0.358	321.8
LSD 5%	16.62	3.32	0.293	0.104	57.6
LSD 1%	21.99	4.39	0.388	0.133	76.3

ژنوتیپ‌های شماره ۳، ۱۲، ۸، ۴ و ۲۱ به ترتیب بیشترین و ژنوتیپ‌های ۱۱، ۲۴، ۱، ۲۰ و ۷ به ترتیب کمترین طول کلئوپتیل را داشتند (جدول ۶). ژنوتیپ‌های ۳، ۴، ۲۵، ۲۱ و ۱۶ به ترتیب یشترین و ژنوتیپ‌های ۸، ۱۹، ۲۳، ۱۱ و۱۴ به ترتیب کمترین وزن ریشه‌چه را دارا بودند. مقایسه میانگین شاخص بنیه بذر در سطح پتانسیل اسمزی ۵- بار نشان داد که ژنوتیپ‌های شماره ۴، ۳، ۱۲، ۱۶ و ۲۵ به ترتیب بیشترین و ژنوتیپ‌های ۱، ۱۹، ۱۴، ۵ و ۲۰ به ترتیب کمترین بنیه بذری را داشتند (جدول ۶).

در آزمایشات تاثیر تنش خشکی در مرحله جوانه‌زنی که توسط عبیری و همکاران (Abiri *et al.*, 2016)، گراوندی و همکاران (Geravandi *et al.*, 2010) و فرخی و همکاران (Farokhi *et al.*, 2004) به ترتیب

جدول۶- میانگین اثر متقابل پتانسیل اسمزی × ژنوتیپ بر صفات مختلف مربوط به جوانی زنی ژنوتیپ های جو در شرایط آزمایشگاه

Table 6. Mean of osmotic potential × genotype interaction effect on different germination related traits of barley genotypes under laboratory conditions

ژنوتیپ Genotype	درصد جوانه‌زنی Germination (%)	سرعت جوانه‌زنی (روز) Germination rate (day)	طول کلئوپتیل (سانتیمتر) Coleoptile length (cm)	وزن ریشه‌چه(گرم) Radicle weight (g)	شاخص بنیه بذر Seed vigor index
		Osmotic potential	(0 MPa)	(صفر مگاپاسکال)	پتانسیل اسمزی
G1	100	22.17	4.02	0.303	402.0
G2	94	19.37	3.58	0.222	333.4
G3	92	17.26	4.51	0.301	409.5
G4	56	11.11	4.05	0.242	230.0
G5	92	14.47	4.11	0.182	378.5
G6	88	17.97	4.25	0.251	370.2
G7	94	20.16	2.89	0.249	270.4
G8	96	17.50	3.95	0.237	377.4
G9	92	21.34	4.11	0.324	377.9
G10	100	20.54	3.99	0.292	399.0
G11	96	18.19	4.15	0.274	396.5
G12	84	14.39	3.40	0.038	284.7
G13	92	16.84	3.89	0.248	354.6
G14	100	18.90	3.80	0.244	381.0
G15	86	16.09	4.00	0.310	341.6
G16	94	19.20	3.82	0.773	357.4
G17	92	19.30	3.65	0.105	332.2
G18	100	21.17	3.78	0.323	377.0
G19	94	15.64	3.17	0.132	297.2
G20	92	19.26	3.37	0.360	310.1
G21	100	20.67	4.16	0.222	415.0
G22	96	16.94	3.71	0.291	355.2
G23	80	14.54	3.84	0.347	303.4
G24	100	21.46	3.99	0.442	400.0
G25	100	27.21	3.48	0.424	349.0
		Osmotic potential	(-5 MPa)	(۵- مگاپاسکال)	پتانسیل اسمزی
G1	64	12.41	2.26	0.203	142.9
G2	80	10.86	2.92	0.224	235.2
G3	82	12.98	3.83	0.315	314.4
G4	90	13.06	3.57	0.304	324.0
G5	50	10.00	3.30	0.207	164.1
G6	72	11.03	3.27	0.265	236.6
G7	98	17.27	2.61	0.273	252.8
G8	64	8.87	3.71	0.172	238.5
G9	72	14.72	2.68	0.238	196.0
G10	74	12.31	3.43	0.234	260.6
G11	86	16.69	2.16	0.190	193.3
G12	80	11.91	3.74	0.251	299.9
G13	78	12.90	3.35	0.232	264.8
G14	46	6.46	3.30	0.201	151.8
G15	76	12.10	3.30	0.264	259.0
G16	90	12.91	3.35	0.280	299.5
G17	72	12.94	3.19	0.228	230.2
G18	86	14.55	2.95	0.225	254.7
G19	50	6.16	2.86	0.178	150.2
G20	74	12.31	2.40	0.246	187.0
G21	76	14.18	3.47	0.281	263.8
G22	70	9.51	3.15	0.260	217.4
G23	70	10.62	3.29	0.187	231.4
G24	88	17.97	2.25	0.249	208.2
G25	96	20.78	3.07	0.294	294.6
LSD%5	23.444	4.68	0.41	0.145	81.3
LSD%1	31.022	6.19	0.54	0.191	107.6

بر روی ژنوتیپ‌های جو ، گندم و سویا انجام شد با افزایش تنش خشکی صفات اندازه‌گیری شده (درصد جوانه‌زنی، سرعت جوانه‌زنی، وزن ریشه‌چه و شاخص بنیه بذر) کاهش معنی‌داری یافتند که با نتایج این تحقیق هم‌خوانی دارد. افزایش شدت تنش خشکی، باعث کاهش در میزان آب قابل دسترس بذر برای جوانه‌زنی شده و در نتیجه سرعت فرایندهای متابولیکی کاهش پیدا کرده و منجر به کاهش درصد جوانه‌زنی، سرعت جوانه‌زنی، طول کلئوپتیل، وزن ریشه‌چه و شاخص بنیه بذر می‌شود.

مطالعه همبستگی بین صفات مختلف در آزمایش جوانه‌زنی نشان داد که بنیه بذر با درصد جوانه‌زنی (r = ۰/۷۱۰**)، طول کلئوپتیل (r = ۰/۶۰۱**) و وزن ریشه‌چه (r = ۰/۷۴۰**)، دارای همبستگی قوی و مثبت بود (جدول۷). درصد جوانه‌زنی ژنوتیپ ها با سرعت جوانه‌زنی (r = ۰/ ۸۲۸**) و وزن ریشه‌چه (r = ۰/۶۴۰**) همبستگی مثبت معنی‌دار داشت. سرعت جوانه‌زنی با وزن ریشه‌چه (r = ۰/۴۸۷*) نیز همبستگی مثبت و معنی‌دار نشان داد (جدول ۷).

جدول ۷- ضرایب همبستگی بین صفات مرتبط با جوانه زنی ژنوتیپ های جو در شرایط آزمایشگاه

Table 7. Correlation coefficients between germination related traits of barley genotype under laboratory conditions

		درصد جوانه‌زنی Germination	سرعت جوانه‌زنی Germination rate	طول کلئوپتیل Coleoptile length	وزن ریشه‌چه Radicle weight
Germination rate	سرعت جوانه‌زنی	0.828**			
Length of coleoptile	طول کلئوپتیل	-0.118	-0.372		
Radicle weight	وزن ریشه‌چه	0.640**	0.487*	0.278	
Seed vigor index	شاخص بنیه بذر	0.710**	0.390	0.601**	0.740**

*and **: Significant at the 5% and 1% levels, respectively.

**و* به ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال پنج و یک درصد.

عبیری و همکاران (Abiri *et al.*, 2016) در بررسی تحمل تنش خشکی ژنوتیپ‌های جو در مرحله جوانه‌زنی با استفاده از پلی‌اتیلن گلیکول به این نتیجه رسیدند که سرعت جوانه‌زنی بیشترین همبستگی را با درصد جوانه‌زنی داشت و بنیه بذر با طول ساقه‌چه، وزن ریشه‌چه و درصد جوانه‌زنی دارای همبستگی بالایی بود. گراوندی و همکاران (Geravandi *et al.*, 2010) نیز در ژنوتیپ‌های گندم گزارش کردند بین درصد جوانه‌زنی با سرعت جوانه‌زنی و بنیهٔ بذر همبستگی مثبت معنی‌دار وجود داشت که با نتایج حاصل از این آزمایش مطابقت دارد. بنابراین می توان با انتخاب برای این صفات نسبت به انتخاب ژنوتیپ‌های متحمل‌تر در مرحله جوانه‌زنی و استقرار گیاه اقدام نمود. درصد جوانه‌زنی با وزن

ریشه‌چه مرتبط بود. ریشه‌چه قبل از این که اندام‌های دیگر گیاه از بذر بیرون آیند، ظاهر می‌شوند، در نتیجه قبل از اندام‌های دیگر در معرض تنش‌های محیطی قرار می‌گیرند. بنابراین، وزن ریشه‌چه می توانـد معیار مناسبی برای گزینش ژنوتیپ‌های متحمل به خشکی باشد.

نتایج در شرایط مزرعه:

تجزیه واریانس مرکب داده ها برای عملکرد دانه با فرض تصادفی بودن سال و ثابت بودن ژنوتیپ‌ها در شرایط بهینه و خشکی نشان داد که برای هر دو شرایط اثر سال و اثر متقابل ژنوتیپ × سال بر روی عملکرد دانه در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول۸).

جدول ۸- تجزیه واریانس مرکب برای عملکرد دانه ژنوتیپ‌های جو در شرایط بدون تنش و تنش خشکی در مزرعه

Table 8. Combined analysis of variance for grain yield of barley genotypes under non-stress and stress under field conditions

S.O.V.	منبع تغییر	درجه آزادی d.f	عملکرد دانه در شرایط بدون تنش Grain yield under non-stress conditions	عملکرد دانه در شرایط تنش Grain yield under stress conditions
Year (Y)	سال	1	34.40**	32.62**
Error1	اشتباه ۱	4	0.428	0.012
Genotype (G)	ژنوتیپ	19	0.897	1.193
Y × G	سال × ژنوتیپ	19	0.643**	0.826**
Error2	اشتباه ۲	76	0.043	0.017
C.V. (%)	درصد ضریب تغییرات		5.74	5.49

**: Significant at the 1% probability level.

**: معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد.

مقایسه میانگین عملکرد دانه در شرایط بدون تنش نشان داد که بیشترین عملکرد دانه به ترتیب به ژنوتیپ‌های ۱۶ و ۲۰ با میانگین ۴/۴۷۹ و ۴/۰۴۱ تن در هکتار و کمترین عملکرد دانه مربوط به ترتیب به ژنوتیپ‌های ۱ و ۱۳ با میانگین ۲/۷۷۸ و ۳/۱۷۰ تن در هکتار تعلق داشت (جدول ۹). مقایسه میانگین عملکرد دانه در شرایط تنش خشکی نشان داد که بیشترین عملکرد دانه به ترتیب به ژنوتیپ‌های ۱۶ و ۱۱ با میانگین ۳/۴۶۶ و ۳/۱۶۵ تن در هکتار و کمترین عملکرد دانه به ترتیب به ژنوتیپ‌های ۹ و ۶ با میانگین ۱/۶۳۴ و ۱/۷۳۴ تن در هکتار مربوط بود (جدول ۹).

برای تعیین تحمل ژنوتیپ‌های تحت بررسی به تنش خشکی از میانگین عملکرد دانه ژنوتیپ‌ها در محیط تنش (Y_S) و میانگین عملکرد دانه ژنوتیپ‌ها در محیط بدون تنش (Y_P) استفاده شد و شاخص‌های تحمل به خشکی براین اساس محاسبه شدند (جدول ۹).

جدول ۹- میانگین عملکرد دانه، شاخص‌های تحمل به خشکی، رتبه، مجموع رتبه، میانگین رتبه و انحراف معیار رتبه مربوط به هر شاخص برای ژنوتیپ های جو در شرایط بدون تنش و تنش خشکی در شرایط مزرعه

Table9. Mean grain yield, drought tolerant indices, rank, sum of rank, mean of rank and standard deviation of rank for each indices for barley genotypes in non-stress and stress under field conditions

ژنوتیپ Genotype	Yp	Ys	TOL	SSI	MP	GMP	STI	YI	YSI	HM	RSI	SR	AR	SDR
1	2.778(20)	2.262(12)	0.515(1)	0.557(1)	2.520(20)	2.507(18)	0.478(18)	0.936(12)	0.814(1)	2.494(18)	1.222(1)	122	11.091	8.432
2	3.944(5)	2.115(16)	1.829(19)	1.392(18)	3.029(10)	2.888(12)	0.634(12)	0.875(16)	0.536(18)	2.753(12)	0.805(18)	156	14.182	4.355
3	3.805(7)	2.582(5)	1.223(12)	0.965(10)	3.193(5)	3.134(5)	0.747(5)	1.068(5)	0.679(10)	3.076(5)	1.018(10)	79	7.182	2.750
4	4.018(4)	3.082(3)	0.936(6)	0.699(4)	3.550(3)	3.519(3)	0.942(3)	1.275(3)	0.767(4)	3.488(3)	1.151(4)	40	3.636	0.924
5	3.566(12)	2.663(4)	0.902(4)	0.760(5)	3.115(6)	3.082(6)	0.722(6)	1.102(4)	0.747(5)	3.049(6)	1.121(5)	63	5.727	2.240
6	3.565(13)	1.735(19)	1.831(20)	1.542(19)	2.650(17)	2.487(19)	0.470(19)	0.718(19)	0.487(19)	2.334(19)	0.730(19)	202	18.364	1.912
7	3.411(16)	2.453(9)	0.958(7)	0.843(8)	2.932(12)	2.892(11)	0.636(11)	1.015(9)	0.719(8)	2.853(10)	1.079(8)	109	9.909	2.548
8	3.212(17)	2.227(14)	0.985(8)	0.921(9)	2.720(16)	2.675(16)	0.544(16)	0.921(14)	0.693(9)	2.63(16)	1.040(9)	144	13.091	3.562
9	3.442(15)	1.634(20)	1.807(18)	1.577(20)	2.538(19)	2.372(20)	0.428(20)	0.676(20)	0.475(20)	2.216(20)	0.712(20)	212	19.273	1.555
10	3.579(11)	2.088(17)	1.490(15)	1.251(16)	2.833(14)	2.734(15)	0.568(15)	0.864(17)	0.584(16)	2.637(15)	0.875(16)	167	15.182	1.662
11	4.036(3)	3.165(2)	0.871(3)	0.648(2)	3.601(2)	3.574(2)	0.972(2)	1.310(2)	0.784(2)	3.548(2)	1.177(2)	24	2.182	0.405
12	3.190(18)	2.349(11)	0.841(2)	0.792(7)	2.769(15)	2.737(14)	0.570(14)	0.972(11)	0.736(7)	2.705(14)	1.105(7)	120	10.909	4.700
13	3.170(19)	2.080(18)	1.090(10)	1.032(13)	2.625(18)	2.568(17)	0.501(17)	0.861(18)	0.656(13)	2.512(17)	0.985(13)	173	15.727	2.936
14	3.598(10)	2.193(15)	1.405(14)	1.173(15)	2.895(13)	2.809(13)	0.600(13)	0.907(15)	0.610(15)	2.725(13)	0.915(15)	151	13.727	1.555
15	3.885(6)	2.253(13)	1.632(17)	1.262(17)	3.069(8)	2.958(10)	0.666(10)	0.932(13)	0.580(17)	2.852(11)	0.870(17)	139	12.636	3.982
16	4.479(1)	3.466(1)	1.012(9)	0.679(3)	3.972(1)	3.940(1)	1.181(1)	1.434(1)	0.774(3)	3.908(1)	1.161(3)	25	2.273	2.412
17	3.449(14)	2.546(6)	0.902(4)	0.786(6)	2.997(11)	2.963(9)	0.668(9)	1.053(6)	0.738(6)	2.929(8)	1.108(6)	85	7.727	2.867
18	3.628(9)	2.453(9)	1.175(11)	0.973(11)	3.040(9)	2.983(8)	0.677(8)	1.015(9)	0.676(11)	2.927(9)	1.015(11)	105	9.545	1.214
19	3.730(8)	2.465(8)	1.266(13)	1.019(12)	3.098(7)	3.032(7)	0.699(7)	1.020(8)	0.661(12)	2.968(7)	0.992(12)	101	9.182	2.483
20	4.041(2)	2.521(7)	1.520(16)	1.130(14)	3.281(4)	3.192(4)	0.775(4)	1.043(7)	0.624(14)	3.105(4)	0.936(14)	90	8.182	5.231
LSD 5%	0.969	1.099												
LSD 1%	1.325	1.502												

Mean again yield under stress conditions (Ys)	میانگین عملکرد دانه ژنوتیپ در محیط تنش	Mean grain yield under non-stress conditions (Yp)	میانگین عملکرد دانه ژنوتیپ در محیط بدون تنش
Tolerance Index (TOL)	شاخص تحمل	Stress Susceptibility Index (SSI)	شاخص‌های حساسیت به خشکی
Geometric Mean Productivity (GMP)	میانگین هندسی	Mean Productivity (MP)	میانگین بهره وری
Harmonic Mean (HM)	میانگین هارمونیک	Stress Tolerance Index (STI)	شاخص تحمل به خشکی
Yield Stability Index (YSI)	شاخص پایداری عملکرد	Yield Index (YI)	شاخص عملکرد
Sum of Rank (SR)	مجموع رتبه هر ژنوتپ در کل شاخص‌ها	Relative Drought Index (RSI)	و شاخص نسبی خشکی
Standard Devesion of Rank (SDR)	و انحراف معیار رتبه هر ژنوتپ در کل شاخص‌ها	Average of Rank (AR)	میانگین رتبه هر ژنوتپ در کل شاخص‌ها

*Numbers in prantheses represents rank of genotypes.

* توضیح: اعداد داخل پرانتز رتبه ژنوتیپ ها را نشان می دهند.

براساس دو شاخص SSI و TOL که مقادیر عددی پایین آنها نشان دهنده حساسیت کمتر ژنوتیپ نسبت به تنش می‌باشد، با در نظر گرفتن شاخص SSI ژنوتیپ‌های ۱، ۱۱، ۱۶ و ۴ و براساس شاخص TOL ژنوتیپ‌های ۱، ۱۲، ۱۱ و ۵ در مقایسه با سایر ژنوتیپ‌ها به عنوان ژنوتیپ‌هایی با حساسیت کمتر نسبت به خشکی آخر فصل شناسایی شدند. از طرفی براساس شاخص‌های MP، GMP، HM، STI، YI، YSI که مقادیر بالای آن‌ها دلالت بر تحمل بالاتر ژنوتیپ تحت بررسی دارد، ژنوتیپ‌های ۱۶، ۱۱، ۴ و ۲۰ برای اغلب شاخص ها به عنوان ژنوتیپ‌های با تحمل به خشکی و عملکرد بالا در هر دو شرایط شناسایی شدند.

مقادیر بالای شاخص‌های MP، GMP، HM، STI، YI، YSI برای یک ژنوتیپ حاکی از آن است که آن ژنوتیپ تحمل به تنش بالاتر و پتانسیل عملکرد بیشتری دارد. بر اساس نتایج مربوط به رتبه ژنوتیپ‌های جو برای هر یک از شاخص‌های تحمل و حساسیت به خشکی (رتبه مربوط به هر ژنوتیپ از نظر شاخص مورد نظر داخل پرانتز در جدول ۹ ارائه شده است) آماره های مجموع رتبه، میانگین رتبه و انحراف معیار رتبه ژنوتیپ‌های جو برای کلیه شاخص های مورد استفاده محاسبه و نتایج نشان داد که ژنوتیپ ۱۱ مطلوب‌ترین ژنوتیپ بود و بعد از آن ژنوتیپ‌های ۱۶ و ۴ به عنوان ژنوتیپ‌های برتر شناخته شدند (جدول ۹).

مطالعه همبستگی بین عملکرد دانه در شرایط تنش(Y_S) و بدون تنش(Y_P) و شاخص‌های تحمل به خشکی مختلف نشان داد که همبستگی بین عملکرد دانه در شرایط تنش (Y_S) و بدون تنش (Y_P) مثبت و معنی‌دار ($r = ۰/۵۹۹^{**}$) بود (جدول ۱۰). عملکرد دانه در شرایط بدون تنش با شاخص‌های MP، GMP، STI، HM و YI همبستگی مثبت و بسیار معنی‌دار نشان داد و با شاخص‌های TOL، SSI، YSI و RSI هیچ ارتباطی نداشت. عملکرد دانه در شرایط تنش با شاخص‌های MP، GMP، STI، HM، YI، YSI و RSI همبستگی مثبت و بسیار معنی‌دار و با شاخص‌های TOL و SSI همبستگی منفی و معنی دار داشت (جدول۱۰).

به طور کلی شاخص‌هایی که دارای همبستگی بالایی با عملکرد دانه در هر دو شرایط تنش و بدون تنش بودند به عنوان شاخص‌های مطلوب معرفی می‌شوند. با توجه به جدول ۱۰ملاحظه می‌شود که شاخص‌های MP، GMP، STI و HM همبستگی‌های معنی‌دار و بالایی با عملکرد دانه در هر دو محیط داشتند و شاخص‌های مطلوبی می‌باشند. گل آبادی و همکاران (Golabadi *et al*., 2006) شاخص‌های MP، STI وGMP را برای گندم دوروم به عنوان شاخص‌های مطلوب برای دستیابی به ارقام پر محصول درشرایط تنش و غیرتنش معرفی کردند. نتایج حاصل از مطالعات سایر محققان (Abou-Elwafa, 2016; Mrizova *et al*., 2016; Ahmed, 2016) نیز نشان داد که شاخص‌های MP، STI و GMP

جدول ۱۰- ضرایب همبستگی بین شاخص‌های تحمل به خشکی بر اساس میانگین های دو سال

Table 10. Correlation coefficients between drought tolerance indices using two-years´ averages

	YP	YS	TOL	MP	GMP	HM	SSI	STI	YI	YSI
YS	0.599**									
TOL	0.321	-0.566**								
MP	0.878**	0.909**	-0.172							
GMP	0.821**	0.949**	-0.277	0.994**						
HM	0.764**	0.973**	-0.365	0.979**	0.996**					
SSI	0.055	-0.763**	0.960**	-0.428	-0.523*	-0.599**				
STI	0.820**	0.946**	-0.276	0.992**	0.997**	0.991**	-0.518*			
YI	0.598**	1.000**	-0.567**	0.909**	0.948**	0.973**	-0.764**	0.946**		
YSI	-0.054	0.764**	-0.960**	0.428	0.524*	0.600**	-1.000**	0.518*	0.764**	
RSI	-0.055	0.763**	-0.960**	0.427	0.523*	0.599**	-1.000**	0.517*	0.764**	1.000**

* و **: معنی‌دار در سطح احتمال پنج و یک درصد.

* and **: Significant at the 5% and 1% probability levels, respectively.

میانگین عملکرد دانه ژنوتیپ در محیط بدون تنش Mean grain yield under non-stress conditions (Yp)
شاخص‌های حساسیت به خشکی Stress Susceptibility Index (SSI)
میانگین بهره وری Mean Productivity (MP)
شاخص تحمل به خشکی Stress Tolerance Index (STI)
شاخص عملکرد Yield Index (YI)
شاخص نسبی خشکی Relative Drought Index (RSI)

میانگین عملکرد دانه ژنوتیپ در محیط تنش Mean grain yield under stress conditions (Ys)
شاخص تحمل Tolerance Index (TOL)
میانگین هندسی Geometric Mean Productivity (GMP)
میانگین هارمونیک Harmonic Mean (HM)
شاخص پایداری عملکرد Yield Stabiliy Index (YSI)

بالاترین همبستگی را با عملکرد دانه در شرایط تنش و عدم تنش دارا بودند که با نتایج مطالعه حاضر تطابق دارد.

مطالعه همبستگی بین صفات در مرحله جوانه‌زنی با شاخص‌های تحمل و حساسیت به خشکی نشان داد که در مرحله جوانه‌زنی فقط وزن ریشه‌چه با شاخص‌های MP، GMP، STI و HM همبستگی مثبت و بسیار معنی‌دار بود (داده ها نشان داده نشده اند). این نتایج با یافته های فیشر و مورر (Fischer and Maurer, 1978) و پن و همکاران (Pan *et al*., 2002) مبنی بر این‌که همبستگی بین صفات جوانه‌زنی با شاخص‌های STI، MP و GMP در شرایط بدون تنش و تنش خشکی می‌تواند در جداسازی ژنوتیپ‌های موثر واقع شود هم‌خوانی داشت. اطلاعات مربوط به ژنوتیپ شماره ۱۶ در جدول ۶ و ۹ نیز نشان می دهد که این ژنوتیپ بیشترین وزن ریشه‌چه و عملکرد دانه را در دو شرایط داشت.

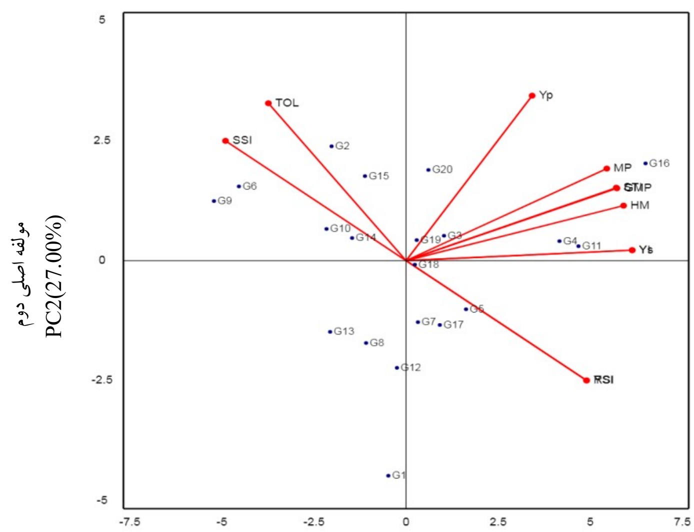
برای مطالعه روابط بین بیش از سه متغیر، یک نمودار حاصل از نمایش چند متغیره مانند نمایش بای‌پلات مفید می‌باشد. بدین منظور، ماتریسی که از داده‌های شامل ژنوتیپ‌ها و عملکرد بدون تنش، عملکرد تحت تنش و شاخص‌های مختلف حساسیت و تحمل به تنش تشکیل شده بود، از طریق تجزیه به مولفه‌های اصلی به شش مولفه تقسیم شد. بیشترین تغییرات مورد نظر بین متغیرها توسط دو مؤلفه اول توضیح داده شد (۹۹/۸۷ درصد).

در این بررسی اولین مؤلفه ۷۲/۸۷ درصد از تغییرات کل داده‌ها را توضیح داد و همبستگی مثبت و خیلی معنی دار با عملکرد دانه در شرایط تنش (Y_S)، بدون تنش (Y_P)، شاخص‌های MP، GMP، STI، HM، YI، YSI و RSI و همبستگی منفی معنی‌داری با TOL و SSI داشت. از این‌رو می‌تواند به‌عنوان مولفه پتانسیل و تحمل به‌خشکی نام‌گذاری شود. این مولفه قادر است ژنوتیپ‌های دارای پتانسیل عملکرد بالا و متحمل به خشکی را از ژنوتیپ‌های با عملکرد پایین و حساس به تنش جدا کند.

دومین مؤلفه حدود ۲۷ درصد از تغییرات کل داده‌ها را توضیح داد و دارای همبستگی مثبت و بالایی با عمکرد دانه در شرایط بدون تنش (Y_P) و شاخص‌های TOL و SSI و همبستگی منفی معنی‌داری با شاخص RSI داشت. بنابراین مؤلفه دوم را می‌توان به عنوان مؤلفه حساسیت به تنش که ژنوتیپ‌های با عمکرد دانه پایین در شرایط تنش و مقادیر بالای TOL و SSI را جدا می‌کند، نام نهاد.

همان‌طور که از شکل۱ پیداست، با توجه به زوایای خطوطی که شاخص‌ها نمایش می‌دهند، ملاحظه می‌شود که شاخص‌های SSI و TOL همبستگی منفی و بالائی با عملکرد دانه در شرایط تنش (Y_S) و همبستگی مثبت با عملکرد دانه در شرایط بدون تنش (Y_P) دارند. همین‌طور شاخص‌های MP، GMP، STI، HM، YI، YSI و RSI با هردو عملکرد تنش و

بدون تنش همبستگی مثبت دارند. ژنوتیپ‌های ۱۶، ۱۱ و ۴ که در ناحیه بالای سمت راست نمودار بای‌پلات هستند دارای پتانسیل بالای عملکرد می باشند و حساسیت کمتری نسبت به خشکی دارند و ژنوتیپ‌های ۱۵، ۲ ، ۱۴ ، ۱۰، ۶، ۹ ، که در قسمت بالای نمودار سمت چپ نمودار قرار دارند دارای عملکرد پایین و حساسیت زیاد به خشکی هستند (شکل۱).



شکل ۱- بای‌پلات ۲۰ ژنوتیپ جو با استفاده از هشت شاخص تحمل به خشکی و عملکرد دانه تحت شرایط تنش و بدون تنش خشکی در مزرعه بر اساس اولین و دومین مؤلفه اصلی

Fig. 1. Biplot of 20 barley genotypes using eight drought tolerance indices and grain yield in non-stress and stress under field condihions based on first and second main components

نتایج این پژوهش نشان داد که در بین ژنوتیپ‌های مورد بررسی در هر دو آزمایش در شرایط آزمایشگاه و مزرعه از نظر اغلب صفات مورد بررسی تفاوت معنی‌داری وجود داشت که این امر نشان دهندهٔ تنوع ژنتیکی در میان ژنوتیپ‌ها می‌باشد. ارزیابی ژنوتیپ‌ها در دو شرایط تنش و بدون تنش خشکی در مزرعه نشان داد که شاخص‌های MP، GMP، STI و HM بیشترین همبستگی را با عملکرد دانه در دو شرایط داشتند. بنابراین به عنوان شاخص‌های مطلوب شناخته شدند.

ارزیابی ژنوتیپ‌ها بر اساس شاخص‌های

تحمـل و حساسـیت بـه خشـکی نشـان داد کـه ژنوتیپ‌های ۱۶، ۱۱ و ۴ ژنوتیپ‌هـای برتـر بـرای دو شرایط تنش و بـدون تـنش می‌باشـند. از میـان صفات اندازه‌گیری شده در مرحلهٔ جوانـه‌زنی در آزمایشگاه تنها وزن ریشه‌چه همبسـتگی مثبـت و معنـی‌داری بـا شـاخص‌های MP، GMP، STI و HM نشان داد. بنـابراین ایـن صـفت می‌توانـد بـه عنوان یـک شـاخص در مرحلـه جوانـه‌زنی بـرای غربـال کـردن ژنوتیپ‌هـای متحمـل بـه خشـکی مدنظر قرار گیرد.

سپاسگزاری

نگارنـدگان از مـدیریت و کارکنـان مرکـز تحقیقات وآموزش کشاورزی منابع طبیعی استان یزد که در اجرای آزمایشات مزرعه ای صـمیمانه همکـاری کردنـد تشـکر می‌کننـد. هـم چنـین از مـدیریت بخـش تحقیقـات غـلات موسسـه تحقیقات اصلاح و تهیـه نهـال و بـذر کـه امکـان اجـرای قسـمتی از پـژوهش در آزمایشـگاه فیزیولوژی آن بخش را فراهم آورد سپاسـگزاری می کنند.

References

Abiri R., **Zebarjadi A. R., Ghobadi M., and Kafashi, A**. K. **2016.** Investigation of drought tolerance of barley genotypes during germination stage using polyethylene glycol. Journal of Plant Research (Iranian Journal of Biology) 29 (2): 395-406 (in Persian).

Abou-Elwafa, S. F. 2016. Association mapping for yield and yield-contributing traits in barley under drought conditions with genome-based SSR markers. Comptes Rendus Biologies 339 (5):153-162.

Ahmed, I. M., Nadira, U. A., Zang, G., and Wu, F. 2016. Exploration, Identification and utilization of drought-tolerant barley germplasm. pp. 115-152. In: Zang, G., and Li, C. (eds.) exploration, identification and utilization of barley germplasm. Zhejiang University Press Co. Ltd. Published by Elsevier Inc.

Agrawal, R. L. 2003. Seed technology. Oxford and IBH Publishing Co. Pvt. Ltd., New Delhi., India. 848 pp.

Almansouri, M., Kinet, J. M., and Lutts, S. 2001. Effect of salt and osmotic stresses on germination in durum wheat (*Triticum durum* Desf.). Plant and Soil 231: 243-254.

Bouslama, M., and Schapaugh, W. T. 1984. Stress tolerance in soybeans. I. evaluation of three screening technique for heat and drought tolerance. Crop Science 24: 933-937.

Cavusoglu, K., and Kabar, K. 2010. Effects of hydrogen peroxide on the germination and early seedling growth of barley under NaCl and high temperature stresses. EurAsian Journal of BioSciences 4: 70-79.

Chaghakaboodi, Z., Zebarjadi, A. R., and Kahrizi, D. 2012. Evaluation of drought tolerance of rapeseed (*Brassica napus L.*) genotypes in laboratory and field conditions. Seed and Plant Improvement Journal 28 (1): 17-38 (in Persian).

Daryanto, S., Wang, L., and Jacinthe, P. A. 2016. Global synthesis of drought effects on maize and wheat production. PLoS ONE 11: e0156362. doi: 10.1371/journal.pone.0156362.

FAO 2016. FAOSTAT database collections. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Available online at: http://faostat3.fao.org/ (Accessed February 18, 2016).

Farokhi, A., Galeshi, S. A., Zeinali, E., and Abdoulzadeh, A. 2004. Evaluation of drought tolerance genotypes of soybean (*Glycine Max*. L Merril) in germination stage. Journal of Agricultural Sciences and Natural Resource 11 (2): 137-150 (in Persian).

Fernandez, G. C. J. 1992. Effective selection criteria for assessing stress tolerance. pp. 257-270. In: Kuo, C. G. (ed.) proceedings of the international symposium on adaptation of vegetables and other food crops in temperature and water Stress. AVRDC Publication, Taiwan.

Fischer, R., and Maurer, R. 1987. Drought resistant in spring wheat cultivars. I: grain yield response. Australian Journal of Agricultural Research 29: 895-97.

Fischer, R. A., and Wood, T. 1979. Drought resistance in spring wheat cultivars III. yield association with morphological traits. Australian Journal of Agricultural Research 30: 1001–1020.

Geravandi, M., Farshadfar, E., and Kahrizi, D. 2010. Evaluation of drought tolerance in bread wheat advanced genotypes in field and laboratory conditions. Seed and Plant Improvement Journal. 26 (2): 233-252 (in Persian).

Golabadi, M., Arzani A., and Mirmohammadi Maibody, S. M. 2006. Assessment of drought tolerance in segregation population in durum wheat. African Journal of Agricultural Research 1: 162-171.

Jafar, M. Z., Farooq, M. Cheema, M. A., Afzal, I., Basra, S. M. A., Wahid, M. A. Aziz, T., and Shahid, M. 2011. Improving the performance of wheat by seed priming under saline conditions. Journal of Agronomy and Crop Science 14: 1-8.

Lima G. S. D., Gheyi, H. R., Nobre, R. G., Xavier, D. A., and Soares, L. A. D. 2016. Castor bean production and chemical attributes of soil irrigated with water with various cationic composition. Revista Caatinga 29 (1): 54-65.

Mesgaran, M., Madani, K., Hashemi, H., and Azadi, P. 2016. Evaluation of land and precipitation for agriculture in Iran. Working Paper 2, Stanford Iran 2040 Project. Stanford University, December 2016. 28 pp.

Michel, B. E., and Kaufman, M. R. 1973. The osmotic potential of polyethylene glycol 6000. Plant Physiology 5: 914-916.

Mrizova, K., Holaskova, E., Oz, M. T., Jiskrova, E., Frebort, I., and Galuszka, P. 2016. Transgenic barley: a prospective tool for biotechnology and agriculture. Biotechnology Advances 32: 137-157.

Nazari, L., and H. Pakniyat. 2010. Assessment of drought tolerance in barley genotypes. Journal of Applied Science 10: 151- 156.

Özdemir, E., and Sade, B. 2015. Alternative approach for drought tolerance: seed priming and physiology. pp.: 73-78. In: proceedings of international conference on chemical, agricultural and biological sciences. Istanbul, Turkey.

Patade, V. Y., Bhargava, S., and Suprasanna, P. 2009. Halopriming imparts tolerance to salt and PEG induced drought stress in sugarcane. Agriculture, Ecosystems and Environment 134: 24-28.

Pour-Aboughadareh, A., Yousefian, M., Moradkhani, H., Moghaddam Vahed, M., Poczai, P., and Siddique, K. H. M. 2019. iPASTIC: an online toolkit to estimate plant abiotic stress indices. Applications in Plant Sciences 7 (7): e11278. doi:10.1002/aps3.11278.

Rosielle, A. A., and Hamblin, J. 1981. Theoretical aspects of selection for yield in stress and non-stress environments. Crop Science 21: 943–946.

Pan, X. Y., Wang, Y. F., Wang, G. X., Cao, Q. D., and Wang, J. 2002. Relationship

between growth redundancy and size inequality in spring wheat populations mulched with clear plastic film. Acta Phytoecology Sinica 26: 177-184.

Scott, S. J., Jones, R. A., and Willams, W. A. 1984. Review of data analysis methods for seed germination. Crop Science 24: 1192-1199.

Shafazade, M., Yazdansepas, A., Amini, A., and Ganadha, M. R. 2005. Evaluation of drought tolerance in promising winter and facultative wheat genotypes using stress susceptibility and tolerance indices. Seed and Plant Juarnal 20 (1): 57- 71 (in Persian).

Soltani, A., Galeshi, S., Zeinali, E., and Latifi, N. 2002. Germination, seed reserve utilization and seedling growth of chickpea as affected by salinity and seed size. Seed Science and Technology 30: 51– 60.

Soltani, A., Gholipoor, M., and Zeinali, M. E. 2006. Seed reserve utilization and seedling growth of wheat as affected by drought and salinity. Environmental and Experimental Botany 55: 195-200.

Tardieu, F. 2012. Any trait or trait-related allele can confer drought tolerance: just design the right drought scenario. Journal of Experimental Botany 63 (1): 25-31.

Zebarjadi, A. R., TavakoliShadpey, S., Etminan, A. R., and Mohammadi, R. 2013. Evaluation of drought stress tolerance in durum wheat genotypes using drought tolerance indices. Seed and Plant Improvement Journal. 29 (1): 1-12. (in Persian).